

Aus der Abteilung für zahnärztliche Werkstoffkunde
und Technologie
(Vorsteher: Prof. Dr. H. Marx)
der Klinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

**Vergleichende Untersuchungen über Abbinde-
expansion und thermische Expansion einiger
Einbettmassen für den Kobalt-Chrom-Modellguß**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde eines Doktors
der Zahnheilkunde der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von
Günther Stahl
aus Mannheim

Mainz 1973

Aus der Abteilung für zahnärztliche Werkstoffkunde
und Technologie (Vorsteher: Prof. Dr. H. Marx) der
Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kiefer-
krankheiten der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN ÜBER ABBINDEEXPANSION
UND THERMISCHE EXPANSION EINIGER EINBETTMASSEN FÜR
DEN KOBALT-CHROM-MODELLGUSS

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes Gutenberg-Universität
Mainz

vorgelegt von
Günther S t a h l
aus Mannheim
Mainz 1973

Referent: Professor Dr. Marx
Korreferent: Professor Dr. Fuhr
Fachbereichsdekan: Professor Dr. Dr. W. Ketterl

Tag der mündlichen Prüfung: 27. Juni 1973



Meinen Eltern gewidmet

Inhaltsübersicht

	Seite
I. Einleitung	1
II. Bisherige Untersuchungen und Literaturübersicht	3
III. Problemstellung	9
IV. Versuchsanordnung und Versuchs- durchführung	11
1. Messung der Abbinde- oder Kaltexpansion	
2. Messung der thermischen Expansion	
V. Meßergebnisse und ihre Auswertung (Statistik)	21
1. Abbindeexpansion	
2. Thermische Expansion	
VI. Zusammenfassung	37
VII. Literaturverzeichnis	39

I. Einleitung

"Das Jahr 1904 bildete einen Wendepunkt in der Geschichte des zahnärztlichen Gußverfahrens. Der Breslauer Zahnarzt Dr. Ollendorf veröffentlichte damals in der Deutschen Monatsschrift für Zahnheilkunde "Neue Methode zur Herstellung von Zahnersatzstücken", die als erste den Goldguß ganzer Platten ermöglichte. Seine noch recht umständliche Arbeitsweise wurde bald von Taggard, Solbrig, Jameson und anderen vereinfacht und so in wenigen Jahren die Gußtechnik zu ihrer heutigen Höhe geführt."

Mit diesen Sätzen begann JUNG (26) 1926 eine Veröffentlichung über Einbettmassen. GREVE (18) bezeichnete TAGGARD als den ersten, der das heute noch übliche "lost-wax"-Verfahren zur Gewinnung der Hohlform für zahnärztliche Güsse ausarbeitete. Dieses wegen seiner Einfachheit und Zeitersparnis gegenüber den früher gebräuchlichen Methoden zur Herstellung von Zahnersatz gepriesene Verfahren erwies sich aber nicht problemlos. Die Mißerfolge in Form von Fehlgüssen waren die Ursache für wissenschaftliche Untersuchungen zum Auffinden und Beseitigen von Fehlerquellen, von denen es nach MYERS (30) über 60 gibt, die sich von der Präparation bis zum Guß erstrecken (24).

Neben den Einbett- und Gußverfahren wurden auch die hierzu benötigten Apparaturen und Materialien wie Wachs, Gußmetall und Einbettmasse eingehend untersucht. Man erkannte bald, daß eine der Hauptschwierigkeiten der Ausgleich der Gußschrumpfung war, die beim Abkühlen des Metalls auftrat. Versuchte man noch in den zwanziger Jahren, wie

BONSAK (4) beschrieb, diese Fehlerquelle mit technischem Geschick zu umgehen, wie 1920 SHOEMAKER durch Wachskorrektur, 1926 MEYER durch Präparation von ausgleichenden Schrägflächen am proximalen Rande oder 1929 VAN HORN durch Einstanzen, so begann man um 1930 intensiv die physikalischen Eigenschaften der Einbettmassen zu erforschen und zu verbessern. DJIE SIANG HAN (19) war der erste, der durch Messen der Abbinde- oder Kaltexpansion und der thermischen Expansion der Einbettmassen die Gußschrumpfung des Metalls beim zahnärztlichen Guß vom fest-heißen zum fest-kalten Zustand auszugleichen suchte.

Sieht man von der Kompensation der festen Schwindung mit Hilfe entsprechender Abform- und Modellmaterialien in der indirekten Arbeitsweise ab, so bleibt auch nach dem heutigen Stand der zahnärztlichen Gußtechnik als eigentlicher Kompensationsfaktor die Ausnutzung der Volumenänderung der Einbettmassen (23).

II. Bisherige Untersuchungen und Literaturübersicht

Die Spezifikation Nr. 2 der A.D.A (2) definiert die Anforderungen, die an eine Einbettmasse gestellt werden:

a) Allgemeine Forderungen:

1. Das Material muß hitzebeständig sein und darf nicht bersten.
2. Das Material darf keine verschmutzende Wirkung auf die Gußlegierung haben und sollte weder Oberflächenrauhigkeiten noch Lunkerformationen des Gusses bewirken.
3. Beim Erhitzen darf die Einbettmasse keine giftigen oder abstoßenden Gerüche abgeben.

b) Spezifische Forderungen:

1. Die Abbindeexpansion sollte nach 24 Stunden mindestens 0,05 % betragen.
2. Die Wärmeexpansion sollte bei 700° C mindestens 0,7 % sein.
3. Bei keiner Temperatur über 200° C darf eine Kontraktion resultieren.
Bei weniger als 200° C darf die Kontraktion nie mehr als 0,15 % sein.
4. Die Kompressionsfestigkeit muß mindestens 125,0 kg/cm² betragen.
5. Die Abbindezeit muß mindestens 5 jedoch nicht mehr als 30 Minuten sein.
6. Die Feinkörnigkeit muß der Norm entsprechen.

Man kann die Einbettmassen wie SCHNELL (41) ganz grob nach ihren Bindemitteln unterscheiden, in gips-, phosphat- und silikatgebundene. ENDELL (10) teilt die gipsgebundenen Einbettmassen noch nach ihrer Expansion ein:

- A. Einbettmassen mit thermischer Expansion, jedoch keine Abbindeexpansion. Die Quarz-Gips-Gemische zeigen bei chemischer Analyse 65 - 75 % SiO_2 und 35 - 25 % Gips (Hemihydrat $\text{CaSO}_4 + 1/2 \text{H}_2\text{O}$). Bei 700° C expandieren diese Massen bis zu 0,7 % lin. Ein zweites Quarz-Gips-Gemisch mit 71 - 73 % SiO_2 und 29 - 27 % Gips expandiert bei 700° C 0,9 - 1,1 %.

Als dritte Masse führt ENDELL Einbettmassen mit Cristobalit an, eine Modifikation des Quarzes, die von SWEENEY (44) und OEHRLIN (31) näher untersucht wurde. Mit 70 - 75 % SiO_2 und 30 - 25 % Gips weisen diese cristobalithaltigen Einbettmassen eine Expansion von 1,3 % lin auf.

- B. Einbettmassen mit thermischer- und Kaltexpansion. Diese Einbettmassen haben als Bestandteile 65 % SiO_2 und 35 % Hemihydrat, dabei beträgt die thermische Expansion 0,7 %, die Abbindeexpansion 0,9 %. Somit weisen diese Einbettmassen eine Gesamtdehnung von 1,6 % lin auf. Nach TAEGE (45) kann man die Einbettmassen in zwei Komponenten zerlegen. Eine kontrahierende aus Gips und eine expandierende aus Quarz und seinen Modifikationen Tridymit und Cristobalit.

Die Gesamtexpansion einer Einbettmasse setzt sich aus Abbindeexpansion und thermischer Expansion zusammen. Die beiden Expansionsformen werden durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Nach EICHNER (9) wird die Abbindeexpansion nur durch das Bindemittel Gips verursacht. "Man erklärt dies mit einem Quellen des Skeletts der porösen Massen bei der Kristallbildung" (9). PRENZ (34) zeigte, daß das Mischungsverhältnis Quarz zu Gips von Bedeutung ist, da durch

Zunahme des Gipsanteils die Abbindeexpansion zunimmt, was SOLBERG (42) bestätigte. Auch das Mischungsverhältnis Wasser zu Einbettmasse wirkt sich auf die Expansion aus. Eine Verringerung des Wasseranteils steigert die Abbindeexpansion (9, 11, 13, 34).

Als weiteren Faktor wird von PRENZ (34) die Anrührzeit angeführt, die bis zu einer gewissen Länge die Abbindeexpansion erhöht, bei extrem langer Anrührzeit aber wieder erniedrigt, da seiner Meinung nach dann die "Verfilzung der Kristalle" gestört wird.

Auch DREYER-JØRGENSEN (7), FALK (11), FRICKE (12) und GERLACH (16) erhalten durch kürzere Anrührzeiten verminderte Expansionswerte.

Verschiedene Autoren wie EICHNER (9), FALK (11), FRICKE (12), FUSAYAMA (13), HÖFER (22) und andere versuchten die Abbindeexpansion durch Zusätze zu beeinflussen. So konnte gezeigt werden, daß z.B. Borax und Kalialaun die Abbindeexpansion vermindern, während Natriumsulfat und Kaliumsulfat sie erhöhen.

Ebenso soll nach PRENZ (34) vermehrte Reaktionswärme die Abbindeexpansion erhöhen. Das gleiche gilt für die nachträgliche Zugabe von Wasser.

Diese Feststellung hat sich schon SCHEU (40) bei der "hygroskopischen Expansion" zu eigen gemacht. Er wollte die Metallkontraktion allein durch "die gesteigerte Abbindeexpansion, die man erhält, wenn man die in Abbindung begriffene Einbettmasse mit Wasser in Verbindung bringt", kompensieren. Ganz im Gegensatz zu ihm werden solche hohen Abbindeexpansionswerte von BEECK (3), COSMANN (5), FUSAYAMA (11), GERLACH (16), HEHRING (20), KRÄUTLE (27), LUMFORD (29), REITHER (39) und anderen wegen Verzerrung des Wachsmodells abgelehnt.

Nach FUSAYAMA (11) soll sich eine Expansion von 2,0 % aus 1,95 % thermischer und 0,05 % Abbindeexpansion zusammensetzen, da er die Abbindeexpansion wegen ihrer

Unkontrollierbarkeit ablehnt.

Für die thermische Expansion gab PRENZ (34) auch eine Anzahl von Faktoren an, die den Wert der Expansion beeinflussen. Das Mischungsverhältnis Gips zu Kiesel-erde spielt hier eine Rolle, denn eine Zunahme der Kieselerde vergrößert die thermische Expansion. Den gleichen Effekt zeigt eine Veränderung des Mischungsverhältnisses Wasser zu Pulver, wenn der Pulveranteil erhöht wird (9, 13, 45). Ebenso vermögen nach FUSAYAMA (13) und HEHRING (21) Zusätze wie Kalium-, Lithiumchlorid und Natriumsulfat die thermische Expansion zu steigern.

Nach CESCHGER (32), PRENZ (34) und anderen bewirkt auch das Einbetten in Vakuum durch die Verdichtung der Einbettmasse eine Zunahme der thermischen Expansion. Gleichzeitig erzielt man durch das Einbetten in Vakuum eine außerordentlich glatte Oberfläche. WEIKART (48) meint, daß das auch ohne Vakuum zu erreichen wäre, mit Vakuum aber schneller, leichter und sicherer.

Als ein wesentlicher Faktor für die Größe der thermischen Expansion sei noch die Zusammensetzung der feuerfesten Substanz der Einbettmasse erwähnt. Als feuerfester Stoff hat sich das SiO_2 besonders bewährt, da es in verschiedenen Modifikationen vorkommt, deren Umwandlung beim Erhitzen mit Volumenänderungen verbunden sind (48).

Die Modifikation Cristobalit hat mit ungefähr 2,0 % im Vergleich zu Quarz (0,86 %) und Tridymit (0,14 %) ein größeres Expansionsvermögen. Ein weiterer Vorteil des Cristobalits besteht darin, daß ein rapider Anstieg schon bei 250°C beginnt, der beim Quarz erst bei 500°C einsetzt. So ist der Temperaturbereich des Expansionsmaximums größer als bei Quarz (34).

Während ENDELL und HOFMANN (10) für die gipsgebundenen Einbettmassen eine zur Aufheizkurve fast spiegelbildliche Abkühlungskurve fanden, stellten GEHRE (15) und REHBERG (35) eine sofort nach Beendigung der Aufheizzeit beginnende Kontraktion fest. Bei den gipsfreien Einbettmassen setzt die Kontraktion jedoch erst bei etwa 500°C ein (35), so daß die Gußverzugszeit in gewissen Grenzen an Bedeutung abnimmt. Die zur Modellgußtechnik verwendeten gipsfreien Einbettmassen unterliegen - durch das Verfahren bedingt - einer anderen Behandlung, als die zur Goldgußtechnik verwendeten gipshaltigen Einbettmassen. Nach KUFNER (28) kann man die Arbeitsphasen der Modellgußtechnik grob folgendermaßen aufgliedern:

1. Modellvorbereitung.
2. Vorarbeiten für das Doublieren.
3. Vorbereiten, Einfüllen und Abkühlen der Doubliermassen.
4. Öffnen der Kuvette und Entfernen des Originalmodells aus der Doubliermasse.
5. Anrühren und Einrütteln der Einbettmassen.
6. Entfernung des Einbettmassenmodells aus der Doubliermasse.
7. Trocknen des Einbettmassenmodells.
8. Modellieren und Anbringen der Gußkanäle.
9. Vorbereitung der Gußmuffel.
10. Trocknen und Vorwärmen der Gußmuffel.
11. Guß.
12. Ausbetten des Rohgusses.
13. Ausarbeiten und Polieren des Gußstückes.

Von diesen verschiedenen Arbeitsphasen untersuchten PEYTON und CRAIG (33) den Einfluß verschiedener Doubliermassen auf die thermische Expansion einer gips-

gebundenen, einer phosphatgebundenen und einer silikatgebundenen Einbettmasse. Während bei der Verwendung verschiedener Doublierzmassen bei der gips- u. phosphatgebundenen Einbettmasse Unterschiede in der thermischen Expansion auftraten, konnten sie das bei der silikatgebundenen Einbettmasse nicht feststellen.

FEDERSBACH, GIERE und KAPLAN (3) gingen der Frage nach, ob ein zusätzliches Vorwärmen zwecks Trocknung und Härtung der Modelle einen Einfluß auf die Expansion der Modellgußeinbettmasse hat. Sie kamen zu dem Ergebnis, daß die gesamte maximale thermische Expansion der Modellgußeinbettmassen unabhängig davon ist, ob die Masse von 0 bis 1000° C erwärmt wird, oder ob noch eine weitere Vorwärmung auf z.B. 200° C oder 400° C vorangestellt wird.

III. Problestellung

In der Literatur über das zahnärztliche Gußproblem nimmt der Goldguß und die gipsgebundenen Einbettmassen den größten Raum ein. In neuerer Zeit werden aber auch Legierungen zum Herstellen von Zahnersatz verwendet, die sehr hohe Arbeitstemperaturen erfordern. Zum Guß solcher Legierungen sind die gipsgebundenen Einbettmassen ungeeignet, da sich der Gips bei ca. 700° C zu zersetzen anfängt (45) und der freiwerdende Schwefel das Gußmetall angreift (38). ALLAN und ASGAR (1) konnten zeigen, daß auch Zusätze wie MgO und andere die Gußmetalle angreifen. Es wurden deshalb Einbettmassen entwickelt, bei denen die feuerfesten Bestandteile nicht mehr durch Gips, sondern durch Phosphat oder Äthylsilikat gebunden sind. Verschiedene Autoren wie EBERSBACH (8), GEHRE (15), JONES (25), OESCHGER (32), PEYTON (33), REHBERG (36) und andere konnten zeigen, daß durch Veränderungen beim Verarbeitungsprozeß wie Doublieren oder Modellhärtung, nicht alle Überlegungen und Versuchsergebnisse der Edelmetalleinbettmassen auf die Modellgußeinbettmassen übertragen werden können.

Die vorliegende Arbeit untersucht die Größe der Abbindeexpansion und thermischen Expansion solcher zum Modellguß von Kobalt-Chrom-Legierungen verwendeter Einbettmassen.

Folgende Einbettmassen wurden untersucht:

- | | |
|---------------|--|
| 1. HYDROVEST | (Frankonia-Dental, Erlangen) |
| 2. MULTI-VEST | (Ransom u. Randolph Comp.
Toledo, Ohio/USA) |
| 3. REMA P | (Dentaurum, Pforzheim) |
| 4. WIROVEST | (Bremer Goldschlägerei,
W. Herbst). |

Als 5. Einbettmasse sollte noch HARTEX (F. Krupp GMBH Essen) untersucht werden.

Die zur Probekörperherstellung und für die Messungen zur Verfügung stehenden Apparaturen ließen jedoch ein Rütteln von 20 Minuten (!), wie laut Verarbeitungshinweis gefordert, nicht zu, so daß Untersuchungen dieser Einbettmasse nicht durchgeführt werden konnten.

IV. Versuchsanordnung und Versuchsdurchführung

1. Messung der Abbinde- oder Kaltetexpansion

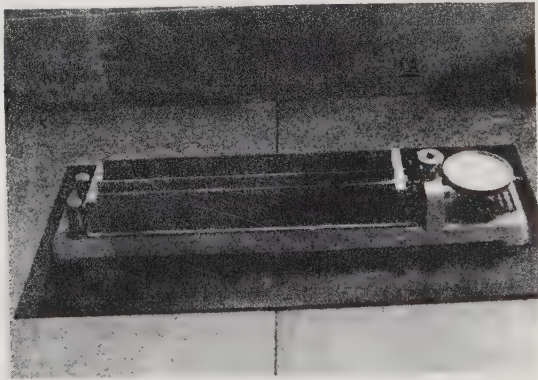
In der Literatur findet man viele Angaben über Methoden zur Messung der Abbindeexpansion. GYSI z.B. füllte ein Glas mit Gips und maß die Spaltbreite der Glassprünge um die Ausdehnung zu bestimmen (zit. n. 12). KERMUTLE (27) benutzte einen nach oben offenen Zylinder mit Meßgerät zur Bestimmung der Expansion. Dieses Verfahren hatte den Nachteil, daß die Reibung zwischen Zylinder und Einbettmasse und der Druck der oberen Einbettmasseschicht das Ergebnis verfälschte. Eine weitere Methode bestand darin, Stübe aus Einbettmasse zu gießen und wenn sie genügend erhärtet waren, in eine Meßapparatur zu legen. Der Nachteil war dabei, daß die Expansion von Herstellen der Gießle bis zum Einlegen in die Meßapparatur nicht gemessen werden konnte. GERLACH (16) benutzte für seine Untersuchungen ein Gußblech, das an eine mit Flüssigkeit gefüllte Meßglocke angeschlossen war. Bei Expansion sank der Flüssigkeitsspiegel, bei Kontraktion stieg er. WAGNER (37) führte mit dieser Methode Volummessungen in der Einbettmasse durch. DREYER-JØRGENSEN (zit. n. 16) benutzte einen stehenden Papierzylinder, den er mit Einbettmasse füllte. Der Einbettmasse wurde der Taster einer Waage aufgelegt. Nach DREYER-JØRGENSEN (zit. n. 27 und 46) gibt es auch keine Methode zur Bestimmung der Abbindeexpansion die absolute Meßwerte liefert. Das Ergebnis ist immer von der verwendeten Apparatur abhängig. Nach WAGNER (16) über auch die Abmessungen des Prüfkörpers einen Einfluß auf das Ergebnis aus: "Die Abbindeexpansion ist um so geringer, je länger bei gleichbleibenden

Durchmesser der Prüfkörper ist. Bei gleicher Meßlänge nimmt die Abbindeexpansion mit dem Durchmesser des Prüfkörpers zu."

HEHRING (21) stellte fest, daß durch das Fehlen einheitlicher Prüfungsmethoden in Deutschland die Untersuchungsergebnisse - bedingt durch die unterschiedlichen Untersuchungsmethoden - zum Teil beträchtlich von einander abweichen.

Bei den eigenen Versuchen wurde das Quellungsmeßgerät für Gips (Abb. 1) von der Firma Curt Weissgerber, Frankfurt/Main, benutzt. Dieses Meßgerät dient dazu, die beim Erhärten von Einbettmasse in einer Form auftretende Ausdehnung zu bestimmen.

Abb. 1



Quellungsmeßgerät der
Firma Curt Weissgerber,
Frankfurt/Main

Das Meßgerät umfaßt:

1. Eine gußeiserne Unterplatte, die an der einen Stirnseite die beiden Festpunkte für die den Ein-

bettmassebrei aufnehmende Form und auf der anderen Seite ein Quersteg trägt. In diesem Quersteg ist in der Mitte die Meßuhr gelagert. Außerdem befinden sich in dem Quersteg zwei Rändelschrauben, die bei der Vorbereitung des Versuches zum Zusammenhalten der Form dienen.

2. Die zur Aufnahme des Einbettmassebreies dienende vierteilige Messingform, die unter Zwischenfügung einer Spiegelglasplatte auf der gußeisernen Unterplatte Aufnahme findet und in die eine Schaumgummiplatte eingelegt wird.

Die Formteile wurden mit Öl leicht eingefettet, um eine gute Beweglichkeit der Formteile untereinander und auf der Glasplatte während des Quellvorganges zu gewährleisten.

Die lichten Maße der Form sind 40,0 x 40,0 x 333,3 mm. In die Form wird eine Schaumgummiplatte von 333,0 x 120,0 mm so eingelegt, daß der Einbettmassebrei nur die beiden Stirnseiten der Form dicht berührt, sonst aber von der durch die Schaumgummiplatte gebildeten Wanne bis zur Höhe der Messingform aufgenommen wird. Die Schaumgummiplatte ragt also an beiden Längsseiten um etwa 10,0 mm über Form und Einbettmassebrei hinaus.

Der durch die Schaumgummiplatte gebildete Wannenquerschnitt ist für den Meßvorgang ohne Belang.

Die Schaumgummiplatte verhindert eine größere Haftung der Einbettmasse an der Messingform. Die erhärtete Einbettmasse läßt sich leichter aus der Messingform entfernen.

Wesentlich für die Messung der auftretenden Quellung ist dagegen die durch die Innenkante der

Messingform gegebenen Länge, die mit 333,3 mm bemessen ist.

Der Grund für die Wahl dieses lichten Maßes der Form ist folgender:

Das Quellmaß der Einbettmasse wird angegeben in mm je m. Bei dem vorgenannten lichten Längenmaß ergibt dann die an der Meßuhr abgelesene Längenänderung multipliziert mit 3,0 das gesuchte Quellmaß der Einbettmasse in mm je m.

Bei der Versuchsausführung geht man folgendermaßen vor:

Im Vorversuch wird zunächst die Einstreumenge festgestellt und daraus das zur Füllung der Form benötigte Einbettvolumen ermittelt. Die Pulvermenge der Einbettmasse war bei allen Versuchen 500 g. Diese, mit einer Briefwaage abgemessene Pulvermenge, wurde innerhalb von 30,0 sec in das, durch die verschiedenen Mischungsverhältnisse der einzelnen Einbettmassen vorgegebene, destillierte Wasser von 21° C eingestreut und 15,0 sec lang vor der Benutzung eines Vakuumanrührgerätes mit der Hand ungerührt, um ein Absaugen des Pulvers in der Anfangsphase zu vermeiden. Bei allen Versuchen wurde das Vakuumanrührgerät der Firma Degussa benutzt. Die automatische Anrührzeit und das Pulver-Flüssigkeitsverhältnis entsprachen den Angaben der Hersteller, und zwar:

Einbettmasse	Pulver	Flüssigkeit (H ₂ O)	Anrührzeit
Hydrovest	100 g	13,0 ccm	40,0 sec.
Multi-Vest	100 g	14,0 ccm	60,0 sec.
Rema P	100 g	14,0 ccm	45,0 sec.
Wirovest	100 g	15,0 ccm	90,0 sec.

Nach dem Anrühren wurde der Einbettmassebrey innerhalb von 30,0 sec in die Form eingerüttelt. Die zwei Rändelschrauben, die die Form zusammenhalten, wurden in den Quersteg zurückgeschraubt und die Meßuhr auf Null nachgestellt. Für diesen Arbeitsgang wurden ebenfalls 30,0 sec benötigt, so daß nach 105,0 sec + automatischer Anrührzeit nach dem ersten Zusammentreffen von Pulver und Flüssigkeit die Messung begann. Die Ausdehnung wurde alle 60,0 sec von einer Meßuhr abgelesen, die auf 1/100 mm genau arbeitete. Gleichzeitig wurde die Temperatur mit einem Thermometer registriert, der vor dem Lösen der Rändelschraube in die noch weiche Einbettmasse gesteckt wurde. Die Thermometerscala reichte von 0° C bis 250° C und war in 1° C-Schritte unterteilt. Durch Multiplikation der an der Meßuhr in mm ermittelten Ausdehnung mit dem Faktor 3,0 wurde das Quellmaß der Einbettmassen in mm je mm oder die lineare prozentuale Abbindeexpansion (β_{lin}) ermittelt.

2. Messung der thermischen Expansion

Zur Messung der thermischen Expansion benötigt man eine Apparatur, die es ermöglicht, die Ausdehnungen eines Prüfkörpers während der Erhitzung zu messen. In der Literatur werden verschiedene Methoden angegeben, die diesen Erfordernissen entsprechen. ENDELL u. HOFFMANN (10) beobachteten die Ausdehnung ihres Probekörpers mit Hilfe eines Doppelfernrohr-Komparators. Auf diese Weise konnten sie Werte ohne Meßdruck erhalten. IIG (24) dagegen verlängerte die Längsachse seines Prüfkörpers durch einen Stab aus dem Ofen heraus und maß den Ausschlag des Zeigers mit dem Meßmikroskop. Durch das Anlegen eines Registrierinstrumentes arbeitete er mit Meßdruck. Nach diesem Grundprinzip arbeitete auch das Gerät, das bei den eigenen Versuchen benutzt wurde. Es handelt sich um das Universal-Dilatometer Modell UBD der Firma Ernst Leitz GmbH, Wetzlar.

Abb. 2



Universal-Dilatometer Modell UBD
der Firma Ernst Leitz GmbH, Wetzlar.

Mit einem Dilatometer nach BOLLENTATH arbeiteten auch COSHANY (6) und FUSAYAMA (16). Es hatte bei allen Versuchen einen Meßdruck von 10,0 g. Das Gerät kann man in die Registratureinrichtung und den Ofen unterteilen. Während des Versuches ist der Ofen fest mit dem Gehäuse der Registratureinrichtung verschraubt, kann aber, da er mit Rollen auf einer Gleitschiene gelagert ist, zum Einlegen und Herausnehmen der Probekörper weggefahren werden. In die Mitte des Ofens ragt eine Quarzröhre, die den Probekörper aufnimmt. In dieser Quarzröhre befindet sich ein Quarzstab, der die Ausdehnung des Prüfkörpers an die Registriereinrichtung vermittelt. Den Prüfkörper liegen ein Kegel- und halbkugelförmiger Quarzkörper an, und zwar jeweils mit der planen Fläche. Die halbkugelige Fläche liegt der Abschlußwand der Glasröhre an und die Spitze des kegelförmigen Quarzkörpers senkt sich in die Bohrung am Ende des Quarzstabes. Um die infolge der unterschiedlichen Wärmeausdehnung eintretende Relativverschiebung zwischen Prüfling und Probekhalter möglichst reibungsfrei zu machen, legt man um die zylindrisch geforste Probe zwei Ringe aus hitzebeständigen Chromnickeldraht von 0,2 mm Stärke. Der lichte Durchmesser der Drahtringe ist zweckmäßigerweise etwa 0,1 mm größer als der Durchmesser des Prüfkörpers. Die Lagerung über solchen Drahtringen bringt den weiteren Vorteil, daß das vom Eigengewicht ausgeübte Biegemoment ausgeglichen und dadurch die Längenänderung korrekt aufgezeichnet wird. Die Längenänderung des Prüfkörpers verursacht die Bewegung eines Lichtpunktes in Richtung der Ordinate. Der

Lichtpunkt fällt gleichzeitig auf eine am linken Ende des Gehäuses angebrachte Mattscheibe und eine Fotopapierhalterung. Die Auslenkung des Lichtpunktes in Richtung der Abszisse wird durch einen Spiegelgalvanometer hervorgerufen, der durch ein Thermoelement im Ofen bewegt wird und gleichzeitig die jeweilige Temperatur im Ofen anzeigt. Auf diese Weise erhält man eine Kurve, die die Expansion in Abhängigkeit der Temperatur wiedergibt. Zum Schutze der Meßinstrumente und der Kunststoffdichtungen ist der Ofen doppelwandig gebaut und wird während des Versuches mit fließendem Leitungswasser gekühlt. Der Ausschlag des Lichtpunktes in Richtung der Ordinate kann 200-, 400- und 800-fach vergrößert werden. Er war bei den eigenen Versuchen 200-fach. Der Lichtpunkt wird von einer Lampe erzeugt, die durch einen im Gehäuse eingebauten Regeltransformator gespeist wird. Die Stromstärke war bei allen Messungen 2,5 Ampere. Zu dem Dilatometer gehört noch ein Regeltransformator für den Ofen, der bei allen Messungen auf 7,5 Ampere eingestellt war. Dadurch benötigte der Ofen folgende Aufheizzeit:

° C	100	200	300	400	500
t (min)	3,5	6,5	9,25	12,5	15,45
° C	600	700	800	900	
t (min)	19,45	24,0	30,5	38,5	

Die im Voraus geplante Maximaltemperatur von 900° C war nach 38,5 Minuten erreicht. Die Aufheizgeschwindigkeit hat durch die geringe Größe des Prüfkörpers (siehe später) keinen nennenswerten

Einfluß auf das Meßergebnis (46). Die Dilatometerkurven wurden auf weißem Hochglanzfotopapier von Kartonstärke mit der Empfindlichkeit "hart" registriert. Um ein Verziehen und Längenänderungen zu vermeiden, wurde das Fotopapier immer unter den gleichen Bedingungen entwickelt und getrocknet.

Vor Versuchsbeginn wurde das Dilatometer geeicht. Auf der Abszisse wurde alle 100° C der Lichtpunkt fixiert und die Klappe, die das Fotopapier verdeckt, kurz geöffnet. Genauso wurden vom Nullpunkt aus auf der Ordinate die Meßpunkte für die Ausdehnung registriert: Durch eine Rändelschraube, die in 0,01 mm-Schritte unterteilt ist, wurden die einzelnen Meßpunkte von 0,0 bis 0,5 mm eingestellt. Für die zu untersuchenden Einbettmassen genügte eine Eichung bis 0,5 mm. Nach dem Entwickeln des Fotopapiers konnte auf Transparentpapier ein Meßgitter hergestellt werden. Damit das Auswertungsdiagramm den Dilatometerkurven koordinatengerecht aufgelegt werden konnte, war vor jedem Versuch die Markierung der Achsenrichtung durch den Nullpunkt, den Punkt für 900° C und den Punkt für 0,5 mm festzulegen.

Durch die Größe der Quarzglasröhre waren die Maße des Prüfkörpers vorgeschrieben: Es war ein Zylinder von 20,0 mm Länge und 3,0 mm Durchmesser. Diese Abmessung machte die Herstellung der Probekörper mit Hilfe von geteilten Messingformen unmöglich, da die Proben beim Auseinandernehmen der Formen zerbrachen. Zur Probekörperherstellung wurde ein Verfahren angewandt, wie es STEGMAYER (43) beschrieben hat.

Die nach den Vorschriften der Hersteller angerührte Masse wurde mittels einer an der Spitze aufgebohrten Einwegspritze von 5,0 ccm in einen Plastikschauch gespritzt, dessen lichte Weite 3,0 mm betrug. Der Plastikschauch war vorher geradlinig auf einer Unterlage befestigt worden, damit er sich nicht verformen konnte, bevor die Masse erhärtet war. Nach 2 Stunden wurde der erhärtete Einbettmassestab aus dem Plastikschauch herausgeschnitten und in 20,0 mm lange Stücke zersägt, die mit einem Mikrometer auf ihre Länge kontrolliert wurden. Die Länge der Prüfkörper schwankte zwischen $\pm 0,05$ mm. Da REHBERG (36) in seinen "Untersuchungen zur Abhängigkeit der thermischen Expansion von Einbettmassen" feststellte, daß die Zeit zwischen Erhärtung und Vorwärmung und die Art der Vorbehandlung, was auch GERLACH (17) feststellte, ob feucht oder trocken gelagert oder ob kurz vor dem Erhitzen in Wasser gelegt, einen Einfluß auf die thermische Expansion haben, wurden alle Proben nach der Herstellung 2 Stunden lang auf 50,0° C erhitzt und anschließend in einen Exsiccator mit Kieselgel aufbewahrt, um einen einheitlichen Trockengrad zu erhalten.

V. Meßergebnisse und ihre Auswertung (Statistik)

Es war das Ziel der statistischen Auswertung, die aus den Messungen errechneten Mittelwerte im Zusammenhang mit den gefundenen Streuungen zu untersuchen und auf den Wege der Prüfung statistischer Hypothesen zu Sachaussagen zu kommen. Deshalb wurden die Meßergebnisse der Abbindeexpansion und der thermischen Expansion einer Varianzanalyse unterzogen und daran anschließend Konfidenzintervalle für die Vergleiche der einzelnen Mittelwerte mit den jeweiligen Endwert nach dem Tukey-Verfahren berechnet.

Für die Einzelheiten der benutzten statistischen Verfahren muß auf die Fachliteratur (17) verwiesen werden, da hier nur einige Anmerkungen zum leichteren Verständnis der Ergebnistabellen gemacht werden können. Die Varianzanalyse eliminiert aus der Gesamtstreuung der Meßergebnisse die Streuung einzelner Einflußgrößen (Faktoren) sowie deren gegenseitige Beeinflussung (Wechselwirkung) und beurteilt diese unabhängig voneinander.

In der ersten Spalte der Varianzanalysetabelle werden diese Faktoren und Wechselwirkungen aufgeführt. Die zweite Spalte (Summe der Abweichungsquadrate = SAQ) enthält die entsprechenden Anteile an der Gesamtstreuung. Die Division der SAQ durch die sogenannten Freiheitsgrade (FG, dritte Spalte) führt zu den mittleren Abweichungsquadraten (MAQ, Spalte 4), die das eigentliche Streuungsmaß darstellen.

Im F-Test (Spalte 5 und 6) wird geprüft, ob dieser Streuungsanteil wesentlich größer ist als nach der Versuchsstreuung zu erwarten. Die Beurteilung der errechneten F-Werte erfolgt nach Festsetzung einer geeigneten Irrtumswahrscheinlichkeit p , durch Vergleich mit den tabulierten Werten der F-Verteilung. Ist der berechnete Wert größer als der Tabellen-F-Wert für $p = 0,01$, so spricht man von einem signifikanten Ergebnis. Die Annahme, daß zwischen den einzelnen Stufen eines Faktors oder einer Wechselwirkung keine wesentlichen Unterschiede bestehen (sogenannte Nullhypothese), kann dann nicht aufrecht erhalten werden. Wird jedoch nur der kleinere Tabellenwert für $p = 0,05$ überschritten, so spricht man von statistisch auffälligen Ergebnis.

Tabelle 1

Abbindeexpansion und Temperatur von HYDROVEST

	1. Versuch		2. Versuch		3. Versuch		4. Versuch		5. Versuch		Mittelwerte	
Z	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T
1	0	29	0	29	0	29	0	29	0	29	0	29
2	0	33	0	34	0	34	0	36	0	36	0	34,6
3	0	38	0	40	0	41	0	42	0	42	0	40,6
4	24	46	27	49	20	50	20	49	27	51	23,6	19
5	57	56	61	62	55	63	56	61	57	64	57,2	61,2
6	80	69	81	73	75	75	77	72	77	74	78,6	72,6
7	79	73	83	73	74	74	76	71	76	72	77,6	72,6
8	75	70	81	70	71	71	73	68	75	68	75	69,4
9	72	67	78	67	67	68	69	65	71	66	71,4	66,6
10	68	65	73	64	63	65	65	63	67	63	67,2	61
11	65	62	70	61	60	63	62	60	64	61	64,2	61,
12	62	59	67	59	57	61	59	57	61	58	61,2	58,8
13	60	57	63	57	54	59	56	55	58	56	58,2	56,8
14	57	55	61	55	51	57	53	53	56	54	55,6	54,8
15	54	53,5	59	53	49	55	51	51	54	53	53,4	53,1
16	52	52	57	51	48	53	49	50	52	51	51,6	51,4
17	51	50	55	50	46	52	48	48	51	49	50,2	49,8
18	50	48	53	48,5	44	50	47	47	50	48	48,8	48,3
19	49	47	52	47	42	49	45	45	49	47	47,4	47
20	48	46	51	46	41	48	43	44	48	46	46,2	46
21	47	45	50	45	40	47	42	43	47	45	45,2	45
22	46	44	49	44	39	46	41	42	46	44	44,2	44
23	45	43	48	43	37,5	45	40	41	45	43	43,1	43
24	44	42	47	42	36	44	39	40	44	42	42	42
25	43	41	46	41	35	43	38	39	43	41	41	41
26	42	40	45	40	34	42	37	38	42	40	40	40
27	41	39	44	39,5	33,5	41	36	37,5	41	39	39,1	39,2
28	40	38	43	39	33	40	35	37	40	38	38,2	38,4
29	39	37,5	42	38	32,5	39,5	34,5	36,5	39	37	37,4	37,7
30	38	37	41	37,5	32	39	34	36	38	36	36,6	37,1
31	35	34	39	35	30	36,5	32	34	35	34	34,2	
32	34	32	38	33,5	28	35	30	32	34	32	32,8	32,9

Z = Zeit in Minuten

A = Ausdehnung in 1/100 mm

T = Temperatur in Grad Celsius

Tabelle 2

Abbindeexpansion und Temperatur von MULTI - VEST

	1.Versuch		2. Versuch		3.Versuch		4.Versuch		5.Versuch		Mittelwerte	
Z	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T
1	0	29	0	29	0	29	0	29	0	29	0	29
2	6	33	2	32	2	32	1	30	2	31	2,6	31,6
3	9	37	6	36	4	36	5	34	6	35	6	35,6
4	17	43	15	41	7	40	7	38	8	39	10,8	40,2
5	22	55	30	49	25	46	19	43	20	45	23,2	47,6
6	56	76	41	64	37	58	30	51	32	53	39,2	60,4
7	65	79	62	79	55	75	40	65	43	68	53,2	73,2
8	65	76	64	79	60	79	58	77	61	79	61,6	78
9	61	74	61	76	59	76	57	76	60	77	59,6	75,8
10	57	70	57	73	55	73	55	73	58	74	56,4	72,6
11	53	67	53	70	51,5	70	53	70	55	71	53,1	69,6
12	49	65	50	67	47	67	48	68	51	68	49	67
13	46	63	46	65	44	65	44	65	47	65	45,4	64,6
14	43	60	43	63	41	63	41,5	63	44	63	42,5	62,4
15	40	58	40	60	38	61	39	61	41	61	39,6	60,2
16	37,5	56	37,5	58	35,5	59	37	59	39	59	37,3	58,2
17	35	54	35	56	33	57	35	57	37	57	35	56,2
18	33	53	33	55	31,5	55	33	55	35	55	33,1	54,6
19	31	51	31	54	30	53	31,5	53	33,5	53	31,4	52,8
20	29	50	30	52	29	52	30	51,5	32	51,5	30	51,4
21	28	49	29	50	27,5	50	29	50	31	50	28,9	49,8
22	27	47	28,5	49	26,5	49	28	49	30	49	28	48,6
23	25,5	46	28	48	25	47	27	48	29	48	26,9	47,4
24	24	45	27,5	47	24	46	26	47	28	47	25,9	46,4
25	23,5	44	27	46	23,5	45	25,5	46	27	46	25,3	45,4
26	22,5	43	27	45	23	44	25	45	26,5	45	24,8	44,4
27	21,5	42	26,5	44	22	43	24,5	44	26	44	24,1	43,4
28	21	41	26	43	21	42	24	43	25,5	43	23,5	42,4
29	20,5	40	26	42	20	41	23,5	42	25	42	23	41,4
30	20	39	25,5	41	19,5	40,5	23	41	24,5	41	22,5	40,5
35	18	36,5	24	37	17,5	37	20,5	37,5	22	37,5	20,4	37,1
40	16,5	34	23	34	15,5	34	19,5	35	20,5	35	19	34,4

Z = Zeit in Minuten

A = Ausdehnung in 1/100 mm

T = Temperatur in Grad Celsius

Tabelle 3

Abbindeexpansion und Temperatur von RTMA P

Z	1. Versuch		2. Versuch		3. Versuch		4. Versuch		5. Versuch		Mittelwerte	
	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T
1	0	29	0	29	0	29	0	29	0	29	0	29
2	0	33	0	33	0	35	0	33	0	34	0	33,6
3	9	39	9	39	9	39	9	39	9	39	9	39
4	27	44	24	47	28	48	26	45	28	48	26,5	46,4
5	78	61	76	72	80	77	77	63	79	76	78	69,8
6	87	78	84	75	90	79	86	77	88	78	87	77,4
7	81	75	78	72	79	69	80	74	78	70	79,2	72
8	76	72	74	68	74	66	75	71	73	64	74,4	68,2
9	71	69	70	66	68	63	70	68	67	61	69,2	65,6
10	67	66	65	63	64	60	66	65	63	58	65	62,4
11	63	64	60	61	60	58	62	63	59	56	60,8	60,4
12	60	62	56	59	57	55	59	61	56	54	57,6	58,4
13	57	60	53	57	54	54	56	59	53	52	54,6	56,4
14	54	58	51	55	52	52	53	57	51	50	52,2	54,4
15	51	56	48	54	50	50	50	49	49	49	49,6	52,8
16	48	54	46	51	48	49	47	53	47	48	47,2	51
17	46	53	44	50	46	47	45	51	45	47	45,2	49,6
18	44	51	43	48	44	46	43	49	44	46	43,6	48
19	42	50	42	47	43	45	42	48	43	45	42,4	47
20	41	49	41	46	42	44	41	47	42	44	41,4	46
21	40	48	40	45	41	43	40	46	41	43	40,4	45
22	39	47	39	44	40	41	39	45	40	41	39,4	43,6
23	38	46	38	43	39	40	38	44	39	40	38,4	42,6
24	37	45	37,5	42	38	39	37	43	38	39	37,5	41,6
25	36	44	36,5	41	37	38	36	42	37	38	36,5	40,6
26	35	43	36	40	35,5	37,5	35,5	41	36	37	35,8	39,7
27	34	42	35,5	39	36	37	35	40	35,5	36,5	35,2	38,8
28	33	41	35	39	35,5	36,5	34	39,5	35	36	34,5	38,4
29	32,5	40	34,5	38	35	36	33,5	39	34,5	35,5	34	37,7
30	32,5	39	34	38	34,5	36	33	38,5	34	35	33,6	37,3
35	31	37,5	31,5	34,5	33	34	31,5	35	32,5	33	31,9	34,8
40	30	35	30	32	31,5	31	30,5	32,5	31	30,5	30,6	32,2

Z = Zeit in Minuten

A = Ausdehnung in 1/100 mm

T = Temperatur in Grad Celsius

Tabelle 1

Abbindeexpansion und Temperatur von WIROVEST

	1.Versuch		2.Versuch		3.Versuch		4.Versuch		5.Versuch		Mittelwert	
Z	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T
1	0	34	0	36	0	33	0	31	0	31	0	33
2	2	39	2	41	2	34	2	34	2	34	2	36,2
3	4	42	4	47	4	39	4	39	4	38	4	41
4	20	48	18	55	22	46	21	47	20	45	20,2	48,2
5	57	56	55	67	60	55	58	57	57	54	57,4	57,8
6	90	67	88	76	96	68	93	71	91	68	91,6	70
7	106	75	96	75	108	74	104	76	101	76	103	75,2
8	108	74	98	73	112	71	106	75	103	74	105,4	73,4
9	108	71	97	70	111	69	105	70	102	71	101,6	70,2
10	106	68	95	68	110	66	103	68	100	68	102,8	67,6
11	104	66	93	65	108	64	100	66	97	66	100,4	65,4
12	102	64	90	63	105	62	98	64	94	64	97,8	63,4
13	99	62	87	61	102	60	96	62	90	62	94,8	61,4
14	96	60	85,5	59	99	58	93	60	88	60	92,3	59,6
15	93	58	84	57	97	56	90	58	86	58	90	57,4
16	91	57	82	56	95	55	87	56	84	57	87,8	56,2
17	90	55	80	54	93	53	84	55	82	56	85,8	54,6
18	88	54	78	53	91	52	82	53	80	54	83,8	53,2
19	87	52	76,5	52	89	51	80	52	79	52	82,3	51,8
20	84	51	75	50	87	49	79	51	78	51,5	80,6	50,5
21	83	50	73,5	49	85,5	48	78	50	77	51	79,4	49,6
22	82	49	72	48	84	47	77	48	76	49	78,2	48,2
23	81	48	71	47	83	46	76	47	75	48	77,2	47,2
24	80	47	70	46	82	45	75	46	74	47	76,2	46,2
25	79	46	69	45	81	44	74	45,5	73	46	75,2	45,3
26	78	45	68	44	80	43	73	45	72	45	74,2	44,4
27	77	44	67	43	79	42	72	44	71	44	73,2	43,4
28	76	43	66	42	78	41	71	43	70	43	72,2	42,4
29	75	42	65	41,5	77	40,5	70	42,5	69	42,5	71,2	41,8
30	74	41	64	41	76	40	69	42	68	42	70,2	41,2
35	72	39	63	38	73	73	68	38	67	39	68,5	38,2
40	69	37	62	37	72	36	67	36	66	37	67,2	36,6

Z = Zeit in Minuten

A = Ausdehnung in 1/100 mm

T = Temperatur in Grad Celsius

Tabelle 5

Varianzanalysetabelle der Abbindeexpansion

Faktoren und Wechselwirkungen	SAQ	FG	MAQ	F-Wert	Beurteilung
1 Einbettmassen	156190	3	52063	206	++
2 Zeitpunkte	259121	31	8359	197	++
3 Körper	1016	16	253	60	++
4 Zeitp./Masse	36812	93	396	94	++
5 Rest	2101	496	4	-	

Tabelle 6

Varianzanalysetabelle der thermischen Expansion

Faktoren und Wechselwirkungen	SAQ	FG	MAQ	F-Wert	Beurteilung
1 Einbettmassen	16364	3	5455	14	++
2 Temp.-Stufen	907939	8	113492	4540	++
3 Körper	6033	16	377	15	++
4 Massen/ Temp.-Stufen	13915	24	580	23	++
5 Rest	3212	120	25	-	

Beurteilung + = auffällig ($p = 0,05$)
 ++ = signifikant ($p = 0,01$)

Abb. 3

Mittelwerte und Zeitbereich
der Abbindeexpansion

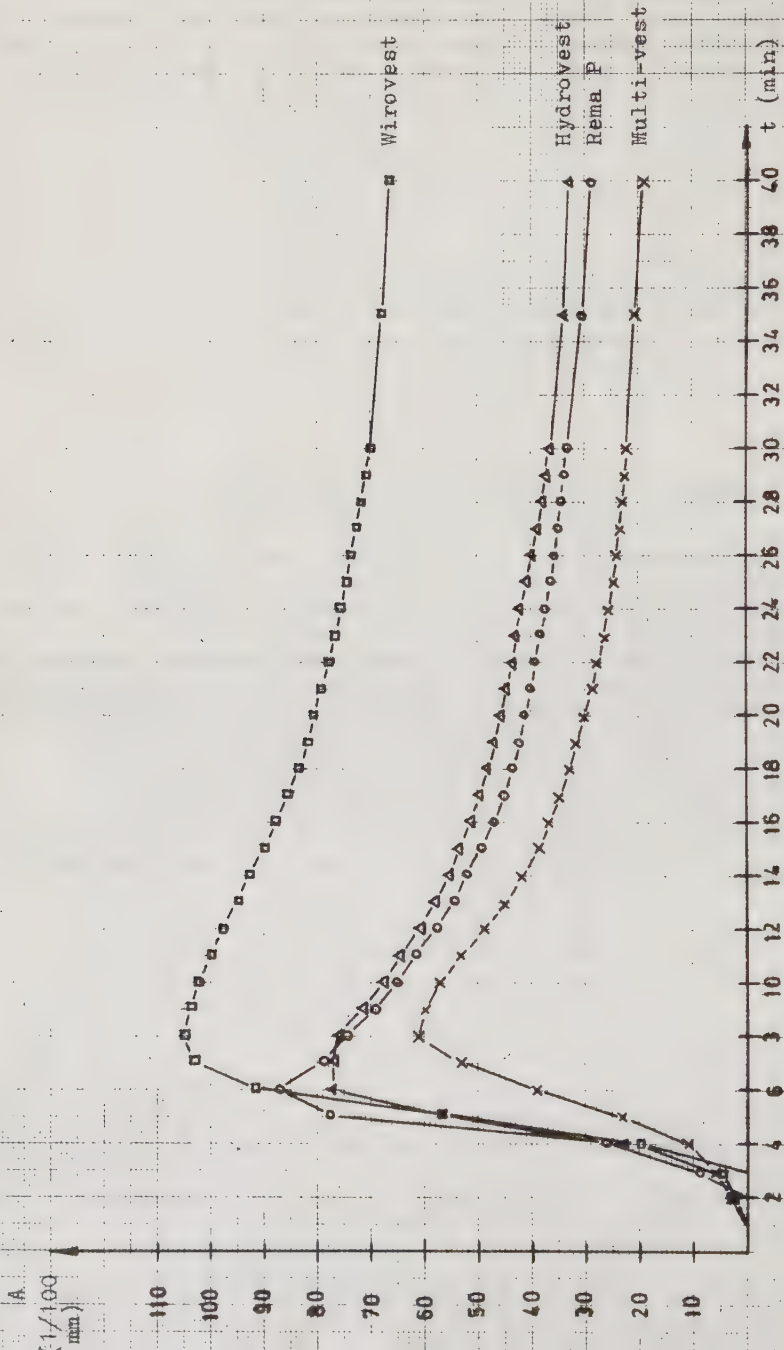


Abb. 4

Vertrauensbereiche nach Tukey für den
40-Minuten-Wert der Abbindeexpansion

Hydrovest

Multi-vest

Rema P

Wirovest

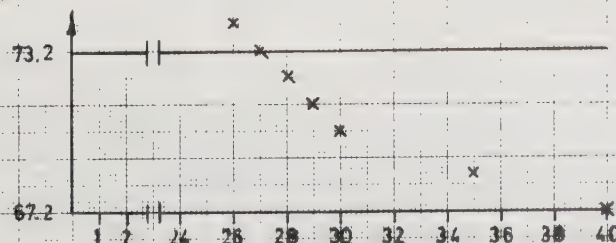
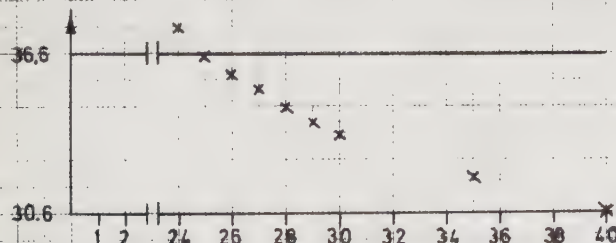
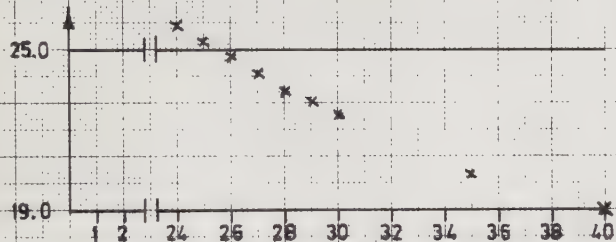
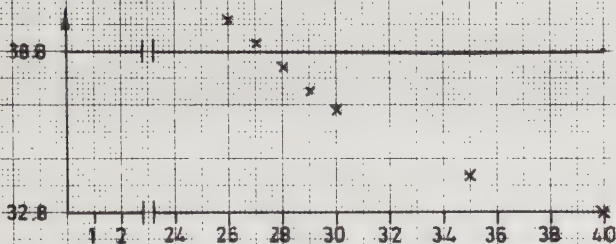


Abb. 5

Original Dilatometerkurven



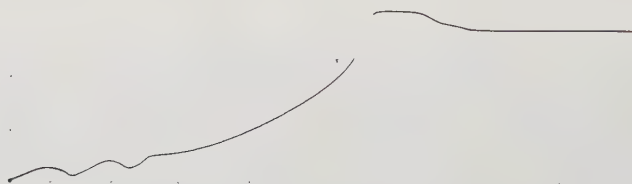
HYDROVEST



MULTI-VEST



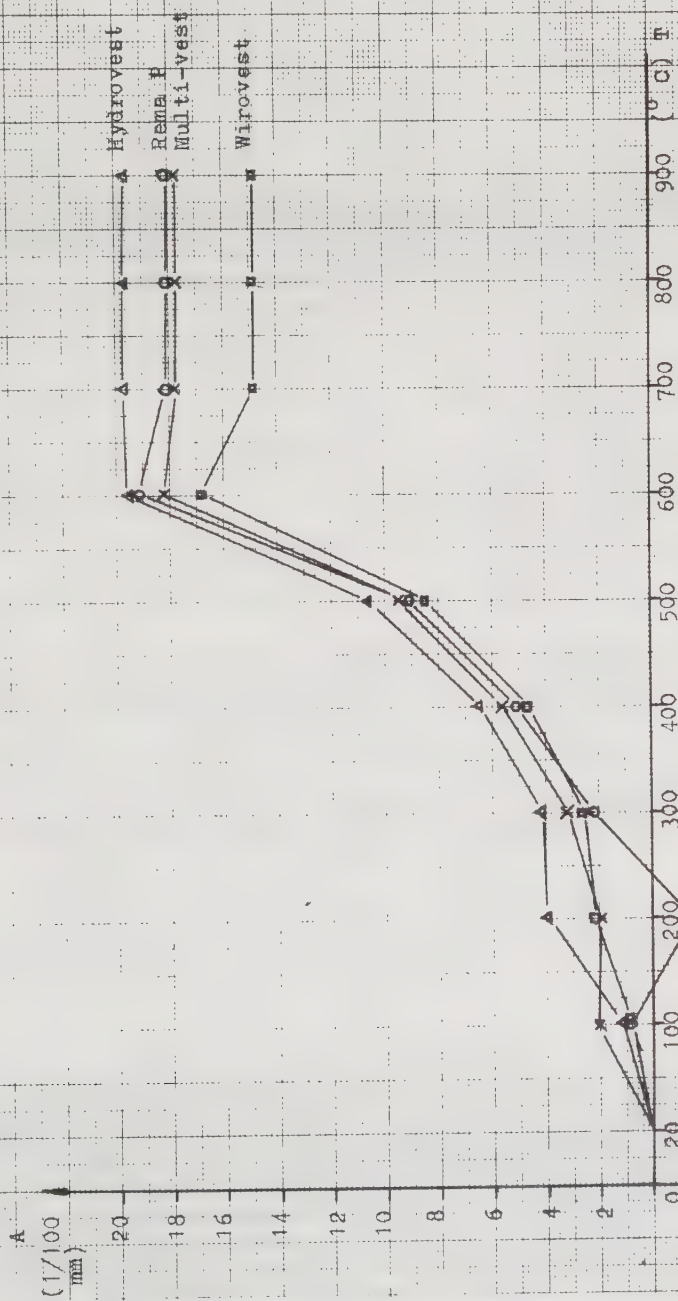
REVA D



WIROVEST

Abb. 5

Mittelwerte und Temperaturbereich
der thermischen Expansion



Vertrauensbereiche nach Tukey für den
900° Celsius-Wert der thermischen Expansion

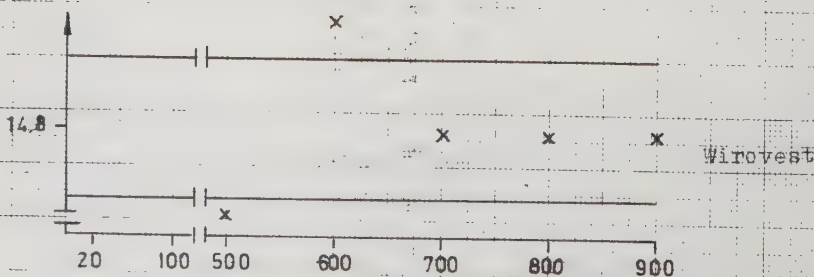
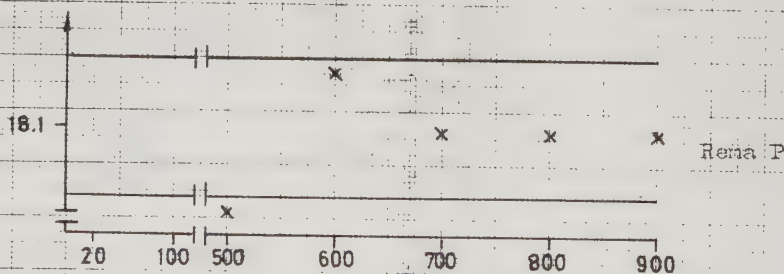
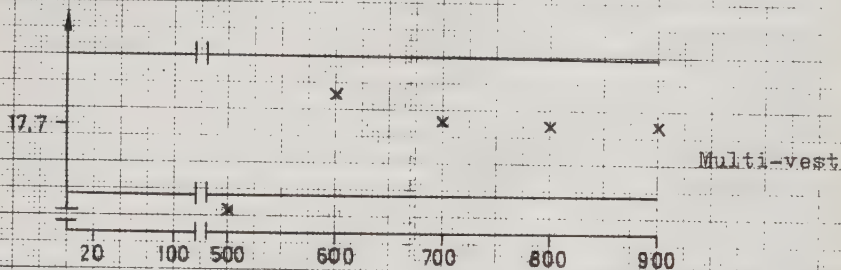
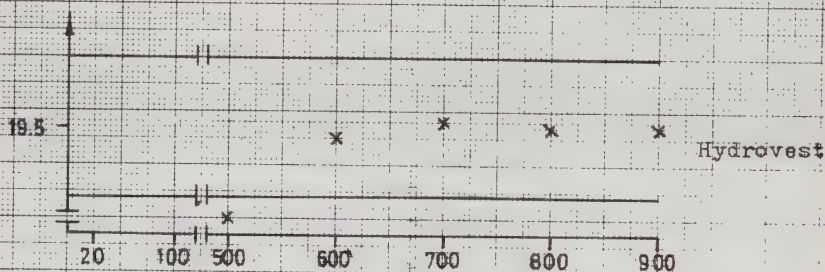
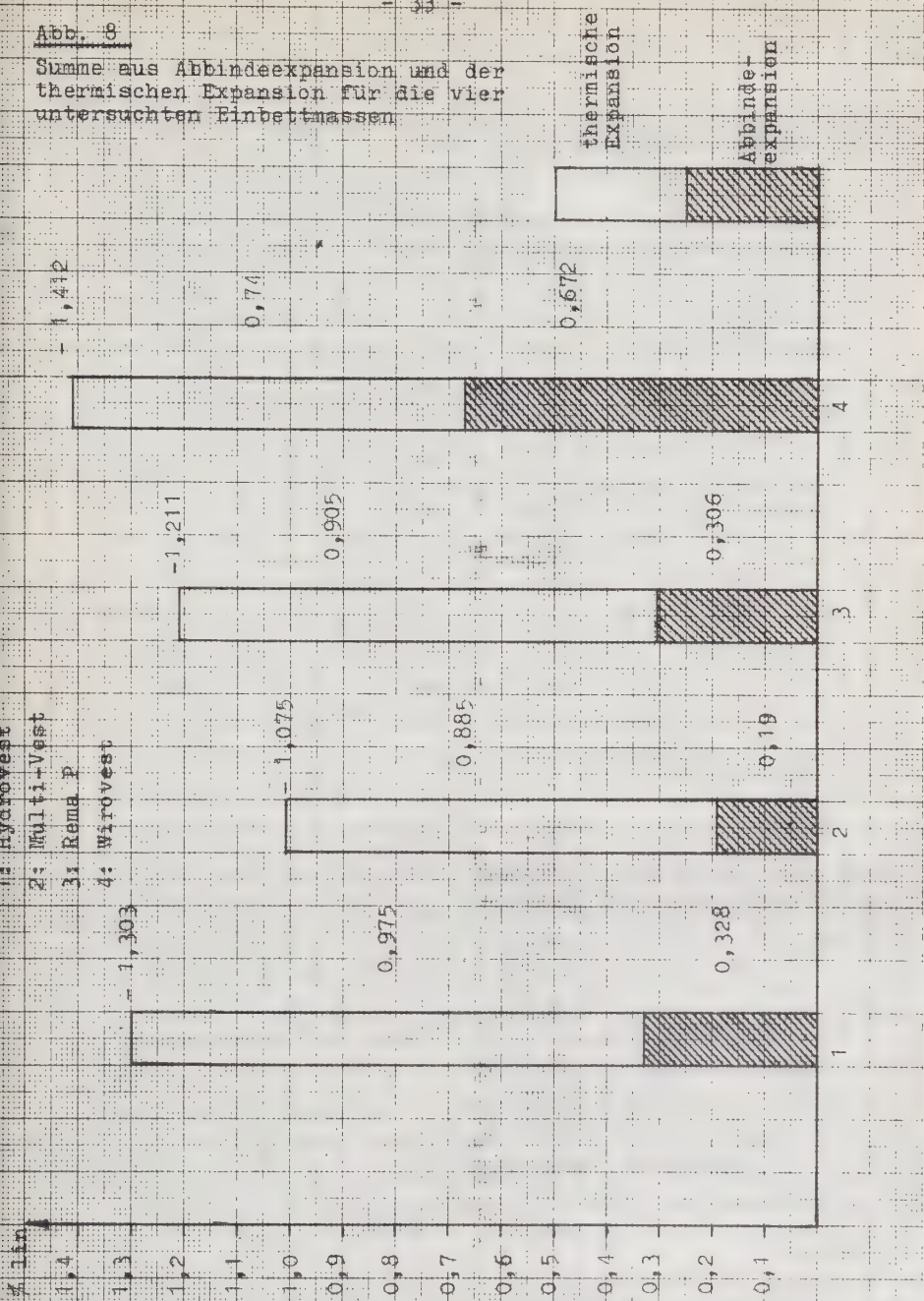


Abb. 8

Summe aus Abbindeexpansion und der thermischen Expansion für die vier untersuchten Einbettmassen



1. Abbindeexpansion

Aus der ersten Zeile der Varianzanalysetabelle (Tab. 5) ist zu ersehen, daß bei den vier Einbettmassen im Mittel unterschiedliche Ausdehnungswerte erreicht wurden. Zeile 2 zeigt, daß die Ausdehnung der Prüfkörper sich im Verlauf der Versuchsdauer statistisch signifikant geändert hat. Zeile 3 läßt erkennen, daß die Prüfkörper der jeweils gleichen Einbettmasse statistisch gesicherte Unterschiede aufzeigen. Dies bedeutet, daß die durch die relative Ungenauigkeit beim Herstellen der Proben bewirkte Streuung außerhalb des statistischen Zufallsbereichs liegt, oder mit anderen Worten die Fehlerquellen beim Annischen der Einbettmassen so zahlreich sind, daß ein identisches Ergebnis nicht erreichbar ist. Aus Zeile 4 ergibt sich, daß der zeitliche Verlauf der Ausdehnung bei den 3 Massen unterschiedlich erfolgte. Zeile 5 enthält die Reststreuung, die man als Meßfehler ansehen kann. Dieser Meßfehler setzt sich aus der Meßungenauigkeit des Gerätes und den Ablesefehlern zusammen. Er ist gegenüber der Wirkung der anderen Einflußgrößen auf die Meßwerte vergleichsweise gering.

Aus Abb. 3 geht hervor, daß bei allen 4 Einbettmassen die Ausdehnung schon zu Beginn des Versuches stattfindet, mit einem Maximum je nach Einbettmasse zwischen der 6. und 8. Minute. Nach Erreichen des Maximums findet eine Kontraktion statt, so daß der Endwert für TUITI-VEST, REMA P und HYDROVEST nur fast ein Drittel, für WIROFEST nicht ganz die Hälfte des Maximalwertes beträgt. Ferner ist aus der Abb. 3 zu ersehen, daß die Endwerte von REMA P und HYDROVEST

sehr dicht beisammen liegen. Hat nämlich der F-Wert ergeben, daß zwischen bestimmten Mittelwerten (den Stufen eines Faktors oder einer Wechselwirkung) signifikante Unterschiede bestehen, so gilt diese Aussage zusammenfassend für alle diese Mittelwerte. Es kann aber nicht ohne weiteres gefolgert werden, daß zwei bestimmte Mittelwerte sich unterscheiden. Zur Beurteilung der Mittelwertdifferenzen wurden die Konfidenzintervalle oder Vertrauensbereiche nach TUKEY berechnet. Hieraus ergab sich, daß die Endwerte von REMA P und HYDROVEST sich nicht statistisch signifikant unterscheiden. Ebenso konnte gezeigt werden (ABB. 4), daß sich der 40-Minuten-Wert bei den einzelnen Einbettmassen statistisch nicht signifikant von den 28-Minuten-Wert bei HYDROVEST und MIROVEST, von den 26-Minuten-Wert bei MULTI-VEST und von dem 25-Minuten-Wert bei REMA P unterscheidet.

2. Thermische Expansion

Aus Zeile 1 der Varianzanalysentabelle (Tab. 6) geht hervor, daß die vier Einbettmassen sich unterscheiden. Zeile 2 zeigt, daß die Ausdehnung der Prüfkörper sich während der Versuchsdauer statistisch signifikant geändert hat. Zeile 4 ergibt, daß die Ausdehnung der Einbettmassen bei den Temperaturstufen unterschiedlich ist. Für Zeile 3 und 5 gilt das gleiche, was schon in der Varianzanalysentabelle für die Abbindeexpansion geschrieben wurde.

Aus den Dilatometerkurven der vier Einbettmassen (Abb. 5) erkennt man den gleichartigen Charakter der Kurven. Weiter geht daraus hervor, daß REMA P

kurz nach Beginn des Erhitzens eine Kontraktion in den negativen Bereich zeigt. In Abb. 6 fällt die geringe Differenz der Endwerte von REMIA P und MULTI-VEST auf. Der TUKEY-Test ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied für den Endwert dieser beiden Einbettmassen. Die Vertrauensbereiche nach TUKEY für den 900° Celsius-Wert der einzelnen Einbettmassen (Abb. 7) ergaben, daß der Wert bei WIROVEST ab 700° C, bei den anderen 3 Einbettmassen schon ab 600° C, sich nicht wesentlich vom Endwert unterscheidet. Das entspricht auch den Verlauf der Kurven in Abb. 5. Die Ausdehnung nimmt erst langsam, ab 400° C aber rasch bis 600° C zu und ändert sich von 600° bis 900° C kaum noch.

VI. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Größe der Abbindeexpansion und der thermischen Expansion einiger gipsfreier Einbettmassen gelessen und die Ergebnisse miteinander verglichen.

Folgende Einbettmassen wurden untersucht:

HYDROVEST, MULTI-VEST, REMA P und WIROVEST.

1. Ergebnis der Abbindeexpansion

Die Mittelwerte der Abbindeexpansion der vier Einbettmassen unterscheiden sich. Während die Differenz zwischen MULTI-VEST mit der geringsten Abbindeexpansion (0,19 % lin) und WIROVEST mit der größten (0,672 % lin) deutlich ist, kann bei HYDROVEST (0,328 % lin) und REMA P (0,306 % lin) für den Endwert kein statistisch gesicherter Unterschied festgestellt werden. Ferner kann durch den TUKLEY-Test gezeigt werden, daß ab der 27. Minute - bei REMA P schon ab der 25. Minute - sich der Wert der Expansion nur noch geringfügig verändert.

2. Ergebnisse der thermischen Expansion

Die mit einem Differenzdilatometer durchgeführten Untersuchungen bis 900° C zeigen einen unterschiedlichen Wert für die Mittelwerte der verschiedenen Einbettmassen. Hierbei ergibt WIROVEST mit 0,74 % lin die geringste und HYDROVEST mit 0,975 % lin die größte Expansion. Der Unterschied von REMA P (0,905 % lin) und MULTI-VEST (0,885 % lin) war statistisch nicht gesichert. Mit Ausnahme von WIROVEST verändert sich bei allen Einbettmassen der Wert für die thermische Expansion ab

600° C nur minimal (bei WIROVEST erst ab 700° C):
REHA P zeigt als einzige der untersuchten Einbett-
massen eine Kontraktion in den negativen Bereich
(- 0,065 % lin bei 200° C).

Die experimentell ermittelten Gesamtexpansions-
werte der untersuchten Einbettmassen weichen
von den von den Herstellern angegebenen Werten
ab, d.h. sie sind alle kleiner als die angegebe-
nen Werte.

Wie die umfangreiche Verwendung von Co-Cr-Legie-
rungen für den zahnärztlichen Modellguß aber
zeigt, lassen sich mit diesen Einbettmassen in
der Praxis dennoch brauchbare Ergebnisse erzie-
len.

Der Grund für diese Diskrepanz dürfte in den Fak-
toren liegen, welche die Meßergebnisse maßgeblich
beeinflussen, wie Größe und Vorbehandlung der
Prüfkörper sowie die Prüfmethode selbst und welche
von den Bedingungen der Praxis aus verfahrenstech-
nischen Gründen abweichen.

Es wäre daher zweckmäßig, das Prüfverfahren mehr
den Gegebenheiten der praktischen Anwendung dieser
Massen anzugleichen, um adäquatere Aussagen machen
zu können.

VII. Literaturverzeichnis

- (1) Allan, F.C. u.
T. Asgar
Reaction of cobalt-
chromium casting alloy
with investment.
J. dent. Res. H. 5/2,
1516 (1966)
- (2) American Dental
Association (A.D.A.)
Guide to dental materials
Third edition 1964
- (3) Beeck, K. H.
Wissenswertes über die
Metallverarbeitung un-
ter besonderer Berück-
sichtigung des Gußpro-
blems.
Zahnärztl. Welt 2, 686
(1954)
- (4) Bonsack, Ch.
Der heutige Stand des
Gußproblems.
Dtsch. Zahnärztl. Z.
2, 5 u. 67 (1953)
- (5) Cosmann, M. u. O.
Zum Problem der Guß-
einbettungsmassen.
Dtsch. Zahn-, Mund- u.
Kieferheilkunde 2, 386
u. 778 (1935)
- (6) Cosmann, M.
Zum Verständnis der
thermischen Expansion
von Gußeinbettungsmassen.
Dtsch. Vjschr. f. Zahn-
heilkunde. 50, 48 (1934)
- (7) Dreyer-Jørgensen, K.
Prüfungsergebnisse zahn-
ärztlicher Gußverfahren.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 7,
461 (1958)
- (8) Ebersbach, W., G.
Gehre u. P. Kaplan
Ein Beitrag zum thermo-
volumetrischen Verhalten
von Modellgußeinbettmassen.
Dtsch. Stomat. 17, 659 (1967)
- (9) Eichner, K.
Leitfaden zahnärztlicher
Werkstoffe und ihre Ver-
arbeitung.
Berlin 1960
- (10) Endell, K. u.
U. Hofmann
Über vergleichende rönt-
genoptische und dilato-
metrische Untersuchungen
an Einbettungsmassen.
Zahnärztl. Rsch. 43, 1478
(1934)

- (11) Falck, K. u.
P. Weikart
Verkstoffkunde für Zahn-
ärzte.
München 1959
- (12) Fricke, H.
Formveränderungen ver-
schiedener Gipsorten in
Abhängigkeit vom jewei-
ligen Arbeitsgang.
Med. Diss. München 1939
- (13) Fusayama, T., H.
Hosoda u. V. T. Kher
Influence of clinical
variables on a cristobalite
investment.
J. prosth. Dent. 11, 152
(1961)
- (14) Fusayama, T.
Factors and Technic of
Precision Casting.
J. prosth. Dent. 9, 486
(1959)
- (15) Gehre, G.
Beitrag zum thermovolu-
metrischen Verhalten von
Einbettmassen unterbeson-
derer Berücksichtigung
der Temperaturführung.
Med. Diss. Leipzig 1965
- (16) Gerlach, H.P.
Wie weit können die Kalt-
expansion der Einbettmas-
sen und die Wachsexpansion
das Gußresultat beeinflus-
sen?
Dtsch. zahnärztl. Wschr. ,
36, 716 (1933)
- (17) Gerlach, H. P.
Die Beeinflussung des
thermischen Volumenver-
haltens von Gips-Quarz-
gemischen im zahnärzt-
lichen Gußverfahren.
Dtsch. zahnärztl. Wschr.
36, 467 (1933)
- (18) Greve, K.
Über die Entwicklung des
Metallgußverfahrens in der
Zahnheilkunde.
Dtsch. zahnärztl. Wschr.
25, 533 (1922)
- (19) Han, D. S.
Experimentelle Untersu-
chungen zur weiteren Klä-
rung des Gußproblems.
Dtsch. Wschr. Zahnheilk.
18, 529 (1930)
- (20) Hehring, H.
Über die Auswirkung der
Abbindeexpansion von Ein-
bettmassen auf die Paßge-
nauigkeit zahnärztlicher
Gußobjekte.
Dtsch. zahnärztl. Z. 22,
1344 (1967)

- (21) Hering, H.
 (22) Hüfer, G.
 (23) Hönig, P.
 (24) Ilg, V. K.
 (25) Jones, D. W. u.
 H. J. Wilson
 (26) Jung, T.
 (27) Krüttle, I.
 (28) Kufner, I.
- Aus Eichner, K. (9)
 Über das Volumenverhalten einiger zahnärztlicher Einbettungsmassen unter Berücksichtigung der Hygroskopischen Expansion nach Scheu.
 Med. Diss. Leipzig 1956
 Vergleichende Untersuchungen über das Volumenverhalten von Einbettmassen.
 Med. Diss. Berlin 1968
 Untersuchungen zur indirekten Technik.
 Teil I: Gedanken zur "indirekten Technik".
 Dtsch. zahn-ärztl. Z. 14, 1305 (1959)
 Teil II: Modellmaterialgeformt, Präparation: positiv.
 Dtsch. zahn-ärztl. Z. 12, 1140 (1961)
 Variables affecting the thermal expansion of refractory investments.
 Brit. dent. J. 125, 249 (1968)
 Studien über Einbettmassen und ihren Einfluß auf die Oberflächengestaltung von Gußarbeiten.
 Dtsch. zahnärztll. Wschr. 29, 121 (1926)
 Die Auswirkung der Abbindeexpansion auf die Wachsmodelle.
 Med. Diss. Berlin 1960
 Aus der Praxis des Gußstahl-Laboratoriums.
 Zahnärztll. Praxis 7, H 5, 9 (1956)

- (29) Tunford, G. u.
R. W. Phillips
Dimensional change in
wax patterns during
setting of gypsum
investments.
J. Dent. Res. 37, 351
(1958)
- (30) Myers, R. E.
Variable Factors in the
Technic of Dental Casting.
J. Amer. Dent. Ass. 30,
203 (1943)
- (31) Oehrlein, A.
Cristobalit - eine neue
Einbettmasse.
Zahnärztl. Rsch. 42,
1227 (1933)
- (32) Oeschger, H. K.
Vergleichende Untersu-
chungen über das Ein-
betten mit in Vakuum
von Luftblasen befreiter
Einbettungsmasse.
Dtsch. Zahn-, Mund- und
Kieferheilk. 22, 208 (1955)
- (33) Poyton, F. A. u.
R. G. Craig
Compatibilities of
duplicating compounds
and casting investments.
J. prosth. Dent. 12,
1111 (1962)
- (34) Prenz, D.
Untersuchungen über Ver-
änderungen der Einbettungs-
massen im Vakuum.
Dtsch. Stomat. 14, 241
(1964)
- (35) Rehberg, H. J.
Untersuchungen über eine
neue Einbettmasse für den
Guß hochschmelzender Le-
gierungen.
Dtsch. Zahn-, Mund- und
Kieferheilk. 22, 193 (1955)
- (36) Rehberg, H. J.
Untersuchungen zur Ab-
hängigkeit der thermi-
schen Expansion von Ein-
bettmassen.
Dtsch. zahnärztl. Z. 25,
852 (1970)
- (37) Rehberg, H. J.
Hohlraummessungen in Ein-
bettmassen.
Dtsch. zahnärztl. Z. 22,
1340 (1967)

- (38) Reinmacher, G. u.
E. Wagner
Die Schädigung weißer
Edelmetall-Legierungen
durch Schwefelaufnahme.
Zahnärztl. Welt 9, 126
(1954)
- (39) Reither, W. u.
W. Steck
Neue Untersuchungen über
die Abbindeexpansion ver-
schiedener Einbettmassen.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 22,
1235 (1957)
- (40) Scheu, C. H.
A New Precision Casting
Technic.
J. Amer. Dent. Ass. 19,
630 (1932)
- (41) Schnell, R. J.,
G. Mumford u. R. T.
Phillips
An Evaluation of Phosphate
bonded Investments used
with a high fusing Gold
Alloy.
J. prosth. Dent. 13,
324 (1963)
- (42) Solbrig, O.
Welche Faktoren bedingen
die Formveränderungen in
den zahnärztlichen Guß-
verfahren?
Dtsch. Vjschr. f. Zahn-
heilk. 38, 81 (1922)
- (43) Stegmayr, H. H.
Abbindeexpansion und
thermische Expansion
einiger hochschmelzender
gipsfreier Einbettmassen.
Ded. Diss. Mainz 1970
- (44) Sweeney, W. T.
Cristobalit for Dental
Investments.
J. Amer. Dent. Ass. 20,
108 (1933)
- (45) Taege, T.
Untersuchungen über ther-
mische und hygroskopische
Expansion von Einbettmas-
sen.
Dtsch. Stomat. 5, 619
(1955)
- (46) Wagner, T.
Beitrag zum Präzisions-
verfahren.
Dtsch. zahnärztliche Z.
22, 1215 (1967)
- (47) Weber, T.
Grundriß der biologischen
Statistik
Anwendungen der mathemati-
schen Statistik in Natur-
wissenschaft und Technik.

(38) Weikart, P.

Kapitel 45 und 46,
6. Auflage Stuttgart
1967

Grenzen und Prüfungen
der Gußgenauigkeit.
Dtsch. zahnärztl. Z. 12,
897 (1957)

Ich möchte Herrn Professor Dr. Marx für die Überlassung des Themas und seine hilfreiche Unterstützung danken. Ebenso möchte ich Herrn Professor Dr. Fuhr für die Übernahme des Korreferats Dank sagen und Herrn Dr. Scheidt, der mich beim statistischen Teil der Arbeit beriet.

LEBENS LAUF

Ich wurde am 6. Mai 1947 als Sohn des Polizeibeamten Heinz Stahl und dessen Ehefrau Brunhilde, geb. Frey, in Mannheim geboren.

Nach vierjährigem Besuch der Volksschule in Mannheim trat ich in das Tulla-Gymnasium in Mannheim ein und erwarb am 11. Oktober 1966, nach neun Schuljahren, das Zeugnis der Reife. Im Wintersemester 1966/67 studierte ich an der Ruprecht-Karl-Universität in Heidelberg Naturwissenschaften. Ab Sommersemester 1967 studierte ich an der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz Zahnheilkunde. Nach zwei Semestern bestand ich im Frühjahr 1968 die naturwissenschaftliche Vorprüfung und nach weiteren drei Semestern im Herbst 1969 die zahnärztliche Vorprüfung. Am 21. Juni 1972 legte ich nach fünf klinischen Semestern vor dem Prüfungsausschuß in Mainz die zahnärztliche Prüfung ab und erhielt am 15. August 1972 vom Ministerium für Soziales, Gesundheit und Sport von Rheinland-Pfalz die Bestallung als Zahnarzt.

Seit 1. September 1972 bin ich bei Zahnarzt Rudolf Fischer in Karlsruhe als zahnärztlicher Assistent angestellt.

Günther Stahl.

Die Arbeit ist in drei Teile gegliedert. Der erste Teil behandelt die allgemeine Lage der Dinge, der zweite Teil die spezielle Lage der Dinge, und der dritte Teil die Ergebnisse der Arbeit.

Der erste Teil ist in drei Abschnitte gegliedert. Der erste Abschnitt behandelt die allgemeine Lage der Dinge, der zweite Abschnitt die spezielle Lage der Dinge, und der dritte Abschnitt die Ergebnisse der Arbeit.

Der zweite Teil ist in drei Abschnitte gegliedert. Der erste Abschnitt behandelt die allgemeine Lage der Dinge, der zweite Abschnitt die spezielle Lage der Dinge, und der dritte Abschnitt die Ergebnisse der Arbeit.

Der dritte Teil ist in drei Abschnitte gegliedert. Der erste Abschnitt behandelt die allgemeine Lage der Dinge, der zweite Abschnitt die spezielle Lage der Dinge, und der dritte Abschnitt die Ergebnisse der Arbeit.

